

الفصل الخامس

انقسامات الخلية

انقسام الخلية

Cell Division

من أهم خواص المادة البروتوبلازمية في الخلية هي قدرة على التضاعف والانقسام وتكوين خلية مشابهة تعلمها لها وتسمى هذه العملية بعملية انقسام الخلية وأول من درس انقسام الخلية هو العالم الألماني وثرلمنج سنة ١٨٨٠.

وينمو الكائن الحي بواسطة نمو الخلايا وانقسامها وتكثرها في الحيوانات ذات الخلية الواحدة تنقسم الخلية لتعطي الحيوان.

أما في الكائنات الراقية عديدة الخلايا فتتأ في الأصل من خلية مخصبة تسمى الزيجوت Zygote تنتج من اتحاد الحيوان المنوي والبويضة. وبواسطة هذا الزيجوت يتكون الجنين و عملية انقسام الخلية يسبقها دائما انقسام النواة.

ويحدث انقسام الخلية بثلاث طرق وهي كالآتي:

- | | |
|----------------------|----------|
| (١) انقسام مباشر | Amitosis |
| (٢) انقسام غير مباشر | Mitosis |
| (٣) انقسام اختزالي | Meiosis |

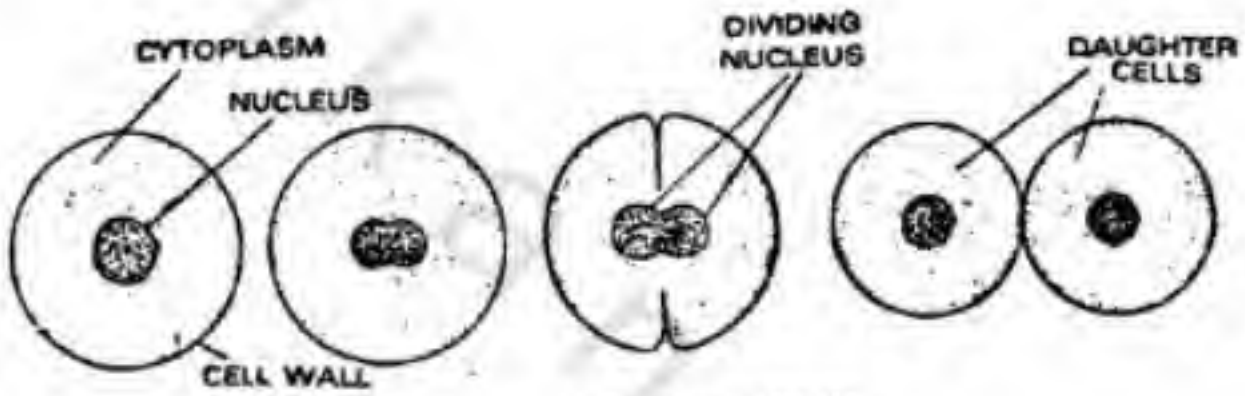
(١) الانقسام المباشر Amitosis

يتم بطريقة بسيطة وسريعة ويحدث في الحيوانات ذات الخلية الواحدة مثل prokaryotes في البكتريا والأوليات protozoa وهذا النوع من الانقسام يسمى بالتكاثر اللاجنسي Asexual reproduction ويتم هذا الانقسام كما يأتي:

١ - تستطيل النواة ثم تختلق من الوسط ويزداد هذا الاختناق تدريجيا حتى تنقسم النواة إلى قسمين متساويين تقريبا.

٢ - بعد ذلك يقل يظهر اختناق آخر في الميتوبلازم المحيط بالنواة ويزداد تدريجيا إلى أن تنقسم الخلية الأصلية (الأم) إلى قسمين متساويين تقريبا وكل منهما يحتوي على نواة واحدة كما في شكل (١-٥).

٣ - وفي بعض الأحيان يتم انقسام النواة دون أن يتبعه انقسام في الميتوبلازم فينتج عن ذلك خلية عديدة النوية تعرف بالمدمج الخلوي Syncytium.



Stages in amitosis.

شكل رقم (١-٥)

(٢) الانقسام الغير مباشر Mitosis

يحدث هذا الانقسام في الخلايا الجسمية Somatic cells وهو ضروريا للنمو والتجديد بواسطة تضاعف المادة الوراثية وتكوين الخلايا البنوية Daughter cells والتي تحتوي على العدد الأصلي من الكروموسومات الموجودة في الخلية الأم وبها نفس الصفات سواء كليا أو كيميائيا كما في شكل (٢-٥) .
وهذا الانقسام هو الطريقة الشائعة بين الخلايا الحيوانية والنباتية ويتم ذلك في معظم الحيوانات الراقية Eukaryotic وهناك طريقتين لهذا الانقسام هما:

(أ) انقسام النواة Karyokinesis

(ب) انقسام السيتوبلازم Cytokinesis

وتوصف الخلية قبل أن تبدأ في الانقسام بأنها في طور السكون Resting stage أو Interphase ويتميز هذا الطور بعدم وضوح شخضية الكروموسومات (الصيفيات) ثم تمر النواة بعدة مراحل للانقسام.

(أ) انقسام النواة (Nuclear division or karyokinesis)

ويتم الانقسام النووي بعدة مراحل هي كالتالي:

أولاً: المرحلة التحضيرية أو البداية: Interphase

- توصف الخلية قبل أن تبدأ في الانقسام بأنها في طور السكون Resting stage أو Inter phase ويتميز هذا الطور بعدم وضوح شخضية الكروموسومات (الصيفيات). وفي هذه المرحلة بالرغم أن الخلية تمر في حالة سكون ولكن داخلها تكون في حالة فيولوجية نشطة

- هذه المرحلة هي أطول مرحلة في عملية الانقسام الغير مباشر وقد تستغرق يوم أو اثنين لتنتهي.

- تشمل هذه المرحلة ثلاث تحت مراحل هي كالتالي:

(١) مرحلة ج_١ G₁ phase

(٢) مرحلة س S phase

(٣) مرحلة ج_٢ G₂ phase

وهذه المراحل هي مراحل Mitotic cycle دورة الخلية في الانقسام الغير مباشر

(١) مرحلة ج_١ G₁ phase

- هي مرحلة سكون صغيرة.

- ولكن تشمل تخليق وتنظيم الأنزيمات الأنزيمات المساعدة والبذلة الضرورية لتخليق المادة دن أ (DNA)

المادة الوراثية.

- وهذه المرحلة تتميز بواسطة التناسخ لمادة Transcription of rRNA/tRNA

TRNA, mRNA and synthesis of different types of proteins

وهو تناسخ المادة الوراثية ريبوزونيكلك أسد (النقللة TRNA والرسول mRNA الريبوسومول rRNA وتخليق الأنواع المختلفة من البروتينات).

(٢) مرحلة S phase

وهي مرحلة التخليق النووي حيث يحدث تناسخ وتضاعف المادة الوراثية DNA (الكروموسومات) وتكوين الهستونات الخاصة بتكوين في هذه المرحلة وبذلك تعتبر هذه المرحلة بمرحلة تكوين الكروموسومات وتضاعف المادة الوراثية وتناسخها (DNA).

(٣) مرحلة ج_٢ G₂ phase

وهي مرحلة ملء تكوين مادة DNA أو تخليقها وتتميز بأن جميع العمليات أو النشاطات الحيوية التي تشمل النمو وتكوين العينات والجزيئات الكبيرة في السيتوبلازم قد تمت.

- وبذلك تمثل المرحلة التمهيديّة Interphase كالتالي:

- الغشاء أو الغطاء النووي يظل موجودا The nuclear envelope remains intact

- توجد الكروموسومات (الصيغيات) منتشرة طويلة حلزونية وغير واضحة.

- تضاعف المادة الوراثية DNA نتيجة تضاعف أو تراكم عدة الريبوسومات rRNA والبروتينات الريبوسومية في النواة.

ثانيا: مرحلة غير مباشرة Mitotic phase

وتلى المرحلة التمهيدية مرحلة أخرى هي M phase والتي تسمى Mitotic والتي تلى مرحلة G₂ phase وتقسم هذه المرحلة إلى عدة مراحل وهي:

Prophase	(١) المرحلة التحضيرية
Metaphase	(٢) المرحلة الانتقالية أو الاستوائية
Anaphase	(٣) المرحلة الانفصالية
Telophase	(٤) المرحلة النهائية

(١) المرحلة التحضيرية Prophase

تعتبر هذه المرحلة هي أولى في مرحلة الانقسام الغير مباشر (M phase) وتتميز هذه المرحلة بالنقى:

- تكثف المادة الكروماتينية واختفاء النوية وتكسر الغشاء النووي.

- ينقسم الجسم المركزي Centrosome إلى قسمين يسمى Centrioles يتحرك كل من الجسمين المركزيان نحو قطبي الخلية ويظهر حولهما أشعة سيتوبلازمية ويسمى كل منهما بالنجم Aster.

- تتضح شخصية الكروموسومات (الصيغيات) داخل النواة ويظهر كل كروموسوم كلفه خيط مزدوج يتكون من خيطين متجاورين طوليا ويسمى بالكروماتيدات chromatides ويكونان متجاورين ومتصلين بالحداد بواسطة قطعة مركزية تسمى centromere وفي نهاية المرحلة التحضيرية تشاهد الكروموسومات تقصر وتتغلظ وتزداد في السمك والحجم.

- وفي نهاية هذه المرحلة يختفي الغشاء النووي وتظهر خيوط المغزل وقد تقسم المرحلة التحضيرية هذه إلى ثلاث مراحل :-

Early prophase, Middle prophase, late prophase

مرحلة تحضيرية مبكرة ومتوسطة ونهاية أو متأخرة وهذه المراحل هي الخطوات المختلفة السابقة وهي قصيرة جدا لا تكاد أن تلاحظ وبذلك تعتبر هذه المرحلة مرحلة واحدة .

(٢) المرحلة الاستوائية Metaphase

تتميز بانضمحل الغشاء النووي وخروج الكروموسومات إلى السيتوبلازم وهي مرحلة قصيرة وتتميز بأن الكروموسومات تنظم نفسها في منتصف المغزل مكونة شكل متناسق ومتماثل وينتظم

الكر وموسوم بخيوط المغزل بتنظيم معين يسمى المصفحة الاستوائية Equatorial plate عن طريق غزو أو انتشار الأنابيب الصغيرة Microtubules بين القطبين والتصالهما بالكر وموسومات عن طريق الكوبينوكوريا الموجودة في

السنتر ومير حيث أن كل سنتر ومير يتكون من عدد ٢ كينيتوكوريا ويحدث انقسام أو انشطار الكروموسوم أي اثنين كروماتيد متصلين ببعضهما بواسطة السنتر ومير.

(٣) المرحلة الانفصالية: Anaphase

تتميز هذه المرحلة بانفصال الكروماتيدات عن بعضهما حيث يأخذ كل كروماتيد كينيتوكوريا واحد حيث يحدث جذب للاتسعة أو الخيوط أو الأنابيب الصغيرة وانقباضها بشد الكروماتيدات الإخوية Sister chromatid عن بعضهما البعض نحو القطبين وتأخذ شكل V أو Y والقوى التي تؤدي إلى اتجاه الكروماتيدات أو (الكر وموسومات الشقيقة) إلى القطبين هي:

- قوة التنافر Force of repulsion بين القطبين.
- طول الألياف المغزلية وامتدادها بين الكروماتيدات.
- قوة جذب وشد الاتسعة المغزلية إلى القطبين وانقباض الاتسعة المغزلية يؤدي إلى جذب الكروماتيدات إلى

أحدى القطبين.

(٤) المرحلة النهائية: Telophase

تتعد الكروماتيدات أو الكروموسومات الشقيقة الناتجة عن بعضها البعض بواسطة الانقباضات المستمرة من خيوط المغزل وقوى التنافر والتي سبق الإشارة إليها وتتحرك هذه الكروموسومات الشقيقة (كروماتيدات) حيث لها تضادف لتكوين الكروموسومات الشقيقة (إلى القطبين).

- عندما تصل الكروموسومات الشقيقة إلى القطبين تبدأ خيوط المغزل في الانكفاء تدريجياً.

- تبدأ ظهور غشاء النواة حول الكروموسومات وتظهر النوية وتنفذ كروموسومات وضوحها وتنقل الخلية

إلى طور السكون.

- تحتوي كل نواة على عدد من الكروموسومات مماثل للعدد الموجود بالخلية أم.

(ب) الانقسام الميتوبلازم: Cytokinesis

- يظهر تضاير وانقباض في الميتوبلازم ويزداد هذا التضخم إلى أن يقسم الخلية الواحدة إلى خليتين تحتوي

كل خلية على نواة وتحتوي كل نواة على عدد من الكروموسومات مماثل للعدد الموجود بالخلية الأم كما

في شكل (٢-٥).

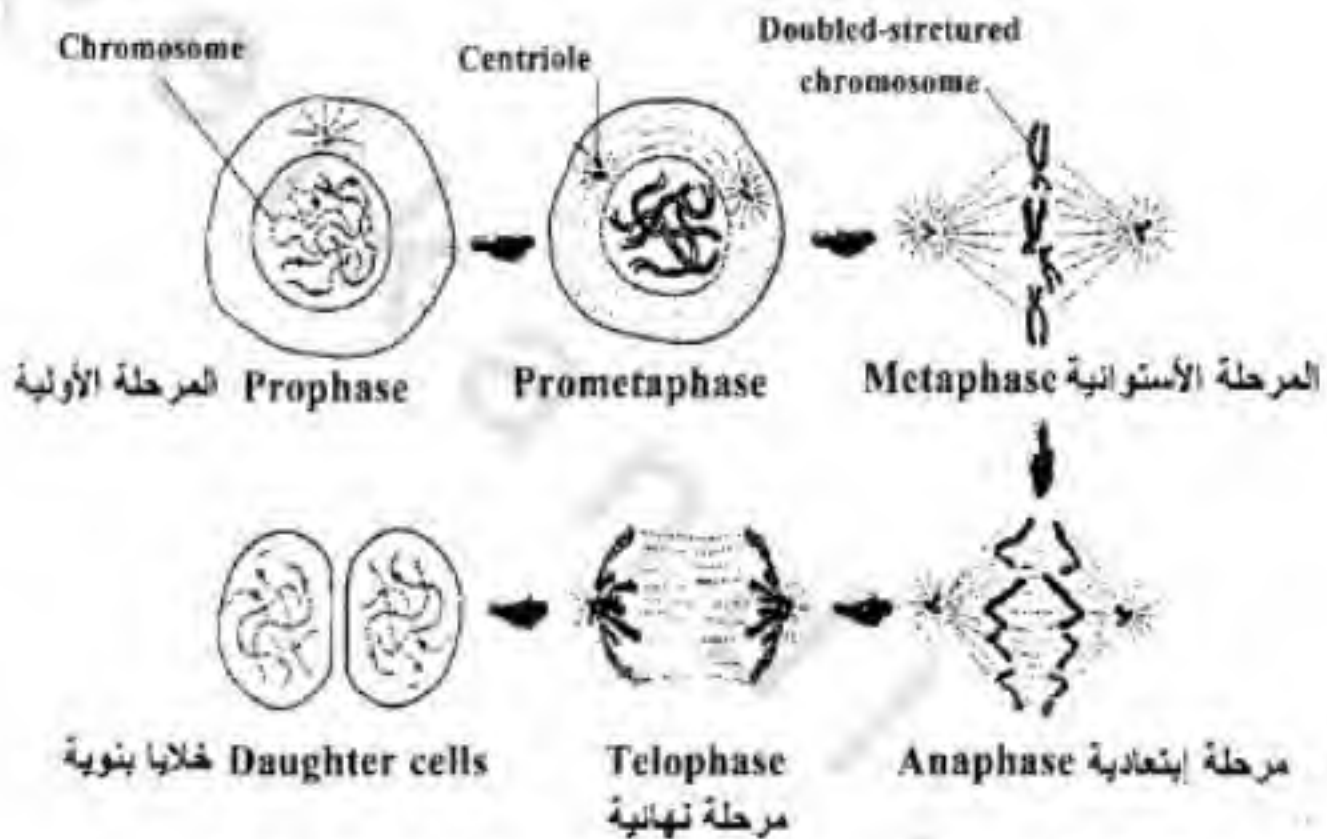
- وبذلك تتكون خليتين من خلية واحدة.

- تتم عملية الانقسام الغير مباشر في فترة تتراوح بين نصف ساعة وثلاث ساعات حسب حالة الخلية

الفسيولوجية ودرجة الحرارة وغيرها من العوامل البيئية.

CHROMOSOMES DURING MITOTIC DIVISION

الانقسام الغير مباشر



Schematic drawing of the various stages of the mitotic division. In the prophase the chromosomes are visible as slender threads. The doubled chromatids become clearly visible as individual units during the prometaphase. At no time during the division do the members of a chromosome pair unite. Blue - paternal chromosomes; red - maternal chromosomes.

شكل مراحل مختلفة للانقسام الغير مباشر.

شكل رقم (٥-٦)

(٣) الانقسام الاختزالي Meiosis

- يحدث هذا الانقسام في الخلايا الجرثومية أو التناسلية Germ cells أثناء تكوين الجاميطات أو الأمشاج الذكرية والأنثوية.
- في هذا النوع من الانقسام يختزل عدد الكروموسومات الموجود في الخلية الأصلية إلى النصف Haploid number.
- تنقسم فيه الفتوة مرتين متتاليتين بسرعة بينما الكروموسومات مره واحدة فقط فينتج عن ذلك أربعة أنويه بكل منهما نصف العدد من الكروموسومات كما في شكل (٣-٥).

ويشمل هذا الانقسام مرحلتين من الانقسام هما:

أولاً: الانقسام الاختزالي الأول First Meiotic division
ثانياً: الانقسام الاختزالي الثاني Second Meiotic division

أولاً: الانقسام الاختزالي الأول: First Meiotic division

ويتميز بأن الدور التحضيري فيه طويل ويتكون من خمسة أطوار (مراحل) هي:

(١) الطور القشري (الحبيبي) Leptotene
(٢) الطور التزاوجي Zygotene
(٣) الطور الصلص Pachytene
(٤) الطور الانفراجي Diplotene
(٥) الطور النشئي Diakinesis

(١) الطور القشري (الحبيبي) Leptotene

حيث تتضخ الكروموسومات وتظهر واضحة طويلة وعليها حبيبات صديغية تعرف باسم الكروميرات chromomeres على طول الكروموسوم. وينقسم السنتروسوم إلى حبيبتين مركزيين centrioles وتتحرك الحبيبتين المركزيين من السنتروسوم نحو أطفي الخلية.

(٢) الطور التزاوجي Zygotene

تقرب الكروموسومات المتشابه بعضها من بعض في أزواج متشابه فيما بينهما اثنين اثنين واحد من الأب وآخر من الأم وتصل الكروموسومات ببعضها عند السنتروسوم دون اندماج وتكون هذه الظاهرة union or Synapsis.

وظاهرة الاتحاد Synapsis تتمثل في ثلاث صور هي:

(١) من النهاية إلى السنتروسوم Proterminal synapsis

وهي تبدأ من النهاية وتمتد حتى تصل إلى السنتروسوم.

(٢) الاتحاد المركزي Procentric synapsis

ويبدأ اتحاد الكروموسومات المتشابه من المركز ويتجه نحو النهاية الكروموسومات.

(٣) اتحاد عشوائي Random synapsis

ويحدث هذا الاتحاد في مناطق مختلفة من الكروموسومات المتشابهة.

(٣) الطور المضاعف: Pachytene

- تتكثف الكروموسومات حول بعضها البعض وتتشابك عند أطرافها حيث يحدث تبادل المادة الكروماتينية بينهما ويتبع ذلك نقل الصفات الوراثية من كل كروموسوم لآخر عند تقاطع هذه الكروموسومات وتعرف هذه الظاهرة بالتقاطع حيث chiasmata.
- تنفصل أجزاء من هذه الكروموسومات عن بعضها في بعض النقاط التي تعرف بالتقاطعات ، هذا في دورا هاما في نقل الصفات الوراثية.
- في هذا الطور ينشق الكروموسوم طوليا إلى اثنين كروماتيد وعندئذ يكون كل كروموسوم مكونا جسما رباعيا وبذلك يعرف هذا الطور بالطور المضاعف.
- ينكسر الغشاء النووي تدريجيا وتنتج النقاط المركزية نحو الاقطاب.

(٤) الطور التشققي: Diakinesis

- تظهر الكروموسومات الثنائية أكثر وضوحا بعد ظاهرة العور والتقاطع فهي تظهر قصيرة وغلظة وتبدأ التقاطعات في البعد من منطقة السنترومير centromere إلى نهايات الكروموسومات وتسمى النهايات Terminalization.
- تظل الكروموسومات متصلة ببعضها البعض بواسطة نهايات التقاطعات. وتتصلق نهاية الكروماتيدات في نقطة أو أكثر.
- ينكسر ويتلاشى الغشاء النووي تماما وتخرج الكروموسومات في وسط السيتوبلازم.
- تختفي النوية.

الطور الاستوائي الأول: Metaphase I

- وهي مرحلة قصيرة وتتميز بأن الكروموسومات تنظم نفسها في منتصف المغزل مكونة شكل متماثل يسمى الصفيحة الاستوائية Equatorial plate.
- يتميز هذا الطور للانقسام الميوزي بتكوين خيوط المغزل والذي تنتشر بين الكروماتيدات المتشابهة مرة في منطقة السنترومير إلى القطبين.
- يتجه كل سنترومير لأحد الكروموسومات إلى القطب المعاكس له.
- تزداد قوة التنافر بين الكروموسومات المتشابهة وبذلك تكون على استعداد للانفصال.
- تترتب الكروموسومات المتشابهة في صفين على الصفيحة الاستوائية.

الطور الانفصالي الأول: Anaphase I

- تستمر كروموسومات كل وحدة ثنائية متصلة ببعضها البعض بواسطة تقاطعات طرفية في بداية هذا الطور.
- تنفصل هذه الكروموسومات نحو القطبين بحيث أن يكون نصف العدد الكروموسومي عند قطب والنصف الآخر عند القطب الآخر.
- يتجه سنتروميير كل كروموسوم نحو القطب المعاكس له.
- يحدث انقباض لخيوط المغزل وقوة تنافر بين الكروموسومات المتشابهة لتشد إحدى الكروموسومات إلى قطب والكروموسومات الأخرى إلى القطب الآخر.

الطور النهائي الأول: Telophase I

- يحدث اختفاء لخيوط المغزل.
- يتكون الغشاء النووي حول الكروموسومات المنفصلة والنوية.
- يوصل العدد الفردي الكروموسومات الخلوية الأصلية إلى أحد القطبين والنصف الآخر إلى القطب الآخر هو صفة من الطور النهائي الأول. وهي الانفصال الكروموسومي.
- يحدث تضاؤل في الميتوبلازم cytokinesis وتكوين خليتين من خلية واحدة لكل واحدة منها عند فردي من الكروموسومات.
- طور ما بين الانقسامين:
- تعرف هذه الفترة بين الانقسام الأول والانقسام الثاني بالفترة البينية وهي قصيرة أو محذومة حيث تدخل الخلية مباشرة في الانقسام الموزي الثاني.

الانقسام الأختزالي الثاني Second meiotic division

وهو يشابه تماما للانقسام الغير مباشر حيث تنقسم الخلية ذات الفردى من الكروموسومات إلى خليتين، كل واحدة بها اعدد الفردى Haploid No من الكروموسومات.

ويشمل هذا الانقسام على عدة مراحل أو أطوار هي:

Prophase II	(١) الطور التمهيدي الثاني
Metaphase II	(٢) الطور الاستوائي الثاني
Anaphase II	(٣) الطور الانفصالي الثاني
Telophase II	(٤) الطور النهائي الثاني

(١) الطور التمهيدي الثاني: Prophase II

- ينقسم كل جسم مركزي centrosome في كل خلية إلى نقطتين مركزيين centrioles تتجه كل واحدة نحو القطب المعاكس.
- تتكون خيوط المغزل حول هذه النقطة المركزية.
- يختفي كل من الغشاء النووي والنوية.
- تظهر الكروموسومات بكميتين وتكون قصيرة وسميكة.

الطور الاستوائي الثاني: Metaphase II

تترتب الكروموسومات في منتصف خيوط المغزل بين القطبين بما يسمى بالصفحة الاستوائية equatorial plate حيث ترتبط الكروموسومات في وسط الصفحة بخيوط المغزل.

- يبدأ السنترومير بالانقسام إلى جزئين ويحدث انقسام الكروموسوم إلى اثنين كروماتيد أو كروموسومات

الشقيقة Daughter chromosomes.

- ترتبط خيوط المغزل بالكروموسوم في منطقة السنترومير.

الطور الانفصالي: Anaphase II

- تتجه الكروموسومات الشقيقة Daughter chromosomes نحو الاقطاب المعاكسة.
- وذلك للشد وجذب خيوط المغزل وقصر الكروموسوم.
- يكون عند كل قطب عدد فردى من الكروموسومات الشقيقة.

الطور النهائي: Telophase

- الكروماتيدات أو الكروموسومات الشقيقة التي نهجر إلى قطبي الخلية تعرف بالكروموسومات.
- يبدأ تكوين الغشاء النووي بواسطة Endoplasmic reticular E.R الأغشية البلازمية.

- يحدث عملية الانقسام الميتوزي Cytokinesis وهو تحضير السيتوبلازم من كلا جانبي الخلية وتكوين خليتين تحتوي كل واحدة منها على نواة بها العدد الفردي من الكروموسومات الموجود بالخلية الأم.
- تظهر النوية وتختفى الخيوط المعزولة وتظهر النقطة المركزية في إحدى قطبي الخلية كما في شكل (٣-٥)

أهم مميزات الانقسام الاختزالي:

- أنه يؤدي إلى الحفاظ على العدد الكروموسومي ثابت في الكائن الحي.
- بواسطة ظاهرة العبور والنقاطعات يؤدي إلى تبادل الجينات بين الكروموسومات محققا الاختلافات الوراثية خلال الأنواع الحيوانية أو النباتية.
- يؤدي إلى نقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر والحفاظ على هذه العادة الوراثية.
- ينتج أربعة خلايا حيوانية بكل واحدة نصف العدد الفردي الموجود بالخلية أم.
- ينقسم كل سنترومير إلى اثنين كينيتوكوريا يأخذ كل كروماتيد واحد كينيتوكوريا Kinetochore إلى أحد القطبين

MECHANISM OF MEIOSIS ميكانيكية الإنقسام



شكل رقم (٥-٣)

المقارنه بين كل من الانقسام الاختزالي والغير مباشر

الرقم	الانقسام الغير مباشر	الانقسام الاختزالي
١	المكان	يحدث في الخلايا الجنسية
٢	المرحلة	تتم في مرحلتين مرحلة أولى، ومرحلة ثانية
٣	الطور التمهيدي	قصير المدة وليس له أي تحت مرحلة
٤	التزاوج الكروموسومي	ليس هناك أي نوع من التزاوج
٥	التصالب أو الصور	يحدث
٦	تبادل المادة الوراثية	يحدث تبادل المادة الوراثية عن طريق التصالب أو العبور يتكون من أربعة كروماتيد يتكون من صغين Tetrads
٧	الطور الامتثالي	يكون من ثنائي الكروماتيد Dyads يتكون من صف واحد
٨	عدد الكروموسومات	تحتوي على نصف العدد الكروموسومي الموجود في الخلية الأم
٩	الخلايا الناتجة	تحتوي على نصف العدد الكروموسومي
١٠	التوزيع الكروموسومي	انقسام كروموسومي في المرحلة الأولى وانقسام كروموسومي في المرحلة الثانية